

유류오염부지내 MTBE 분포 및 이동 특성

고경석, 전치완, 조춘희, 김통권

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 (kyungsok@kigam.re.kr)

<요약문>

To know the occurrence and distribution of MTBE in groundwater, the analysis of groundwater around petroleum spill area was executed. The groundwaters of the 4 study sites are severely contaminated with MTBE and has the highest values of 650mg/L. The plume length of MTBE is longer than that of BTEX in D site and it is caused by the high solubility and low sorption capacities of MTBE.

key word : MTBE, groundwater, BTEX.

1. 서론

메탄올과 이소부텐의 결합체인 MTBE(Methyl Tertiary Butyl Ether)는 옥탄가를 높이고 산소 함량을 증가시켜 가솔린의 불완전연소를 저감시키기 때문에 대기오염을 줄이기 위해 자동차 무연휘발유의 첨가제로서 널리 사용되는 물질이다. 미국의 경우 1990년 대기청정법(Clean Air Act)에서 대기오염이 심한 도시에 반드시 연료에 산화제를 포함하도록 하였다. 국내의 경우 1984년부터 사용되기 시작하였으며 MTBE는 휘발유에 6-8%가 포함되어 있는 것으로 보고되고 있다.¹⁾ MTBE는 대기오염에 대하여 환경친화적인 측면이 있으나 연료저장탱크, 연료수송관 등으로부터 누출되는 유류에 의한 토양 및 지하수의 수질을 악화시키는 요인으로 작용하고 있다. MTBE의 발암성에 대해서는 Belpoggi 등²⁾에 의한 실험결과 종양을 발생시키는 것으로 확인되었다. 미국 EPA에서는 MTBE를 인체발암 가능물질로 분류하고 있으나 음용수 규정에서는 아직 포함시키지 않은 상태이다. 그러나 1997년에 맛과 냄새를 기준으로 20-40 μ g/L의 음용수 권고량을 발표했다.³⁾

국내에서는 아직 지하수나 토양에서 MTBE에 대한 조사 및 실태가 거의 행해진바 없으며 규제량 역시 전혀 정해져 있지 않은 실정이다. 2002년에는 환경정책평가연구원에서 MTBE의 위해성과 관리 필요성에 대한 세미나가 이루어진 바 있다.¹⁾ 따라서 본 연구에서는 MTBE가 주로 나타날 수 있는 유류오염부지 주변 지하수에 대하여 농도 분포를 조사하여 오염특성 등을 제시하도록 할 것이다. 특히 BTEX와 MTBE의 공간적 분포와의 상관비교를 통하여 자연정화 특성 등도 연구하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 연구방법 및 결과

2.1. 연구지역 및 방법

연구를 위한 지하수 시료는 4곳의 유류오염지역에서 채취되었다. 연구지역은 모두 가솔린과 등유가 누출된 곳으로서 A, B 지역은 저유탱크로부터 누출된 가솔린, 디젤 등에 의해 오염된 곳이며 C, D 지역은 송유관으로부터 누출된 유류에 의해 오염된 곳이다. A, C 지역은 자유상(free phase)의 유류가 상당한 두께(1m 이상인 곳도 있음)로 나타나며, B, C 지역은 상대적으로 자유상 두께가 수 cm 정도로 관찰된다. 지하수 시료 채취는 테프론샤펀타가 있는 유리병에 채취하였으며 미생물활동에 의한 분해를 최소화하기 위하여 소량의 HgCl₂를 첨가한 후 냉장 보관한 후 실험실로 운반하여 분석을 실시하였다.

BTEX와 MTBE 분석을 위한 표준물질 및 내부표준물질은 슈펠코(Supelco)사에서 제작하여 EPA의 검정을 거친 순도 99.9% 이상의 원액을 검정없이 사용하였다. 분석에 사용된 가스크로마토그래프는 Hewlett Packard, HP5890이며, 검출기는 질량검출기(mass selective detector, MSD)를 사용하였다. P&T은 테크마사의 LSC 2000 모델을 사용하였으며 컬럼은 J&W사의 모세관 컬럼(dimethyl-diphenylpolysiloxane crosslinking moiety capillary column, 60m×0.25mm id, 1.5 μm film thickness)을 사용하였다.

2.2. MTBE와 BTEX의 농도 분포 및 특성

4개의 연구지역에서 채취된 지하수에 대한 휘발성 유기성분(VOC)와 MTBE에 대한 분석 결과는 Table 1과 Fig.1에 나타나 있다. MTBE에 대한 분석 결과를 살펴보면 가솔린의 오염원의 위치에 따라 매우 큰 편차를 보여주고 있었으나, 전체적으로 모든 연구지역에서 0.035-650mg/L의 농도를 보여주어 EPA³⁾에서 권고된 음용수 기준치인 20-40μg/L보다 높은 값을 나타냄을 확인하였다. 순수한 MTBE의 물에 대한 용해도⁴⁾는 20℃에서 50,000mg/L이며 매우 높은 값을 가진다. 이에 반해 benzene의 경우 1780mg/L의 용해도를 가지기 때문에 30배 정도의 차이를 보여준다. 그러나 실제 일반 가솔린에서 benzene은 20℃에서 18mg/L, MTBE는 가솔린에 11% 정도 포함되었을때 4700mg/L 정도의 용해도 값을 가져 261배 정도의 차이를 보여준다. 따라서 만약 MTBE가 발암성 등에 대한 유해요인이 확인된다면 유류오염부지에서 BTEX 같은 휘발성 유기성분(VOC)보다 훨씬 더 문제가 되는 성분으로 작용하게 될 것이다.

관정의 위치가 오염원으로부터 위치, 누출된 유류의 양 및 지하수 시료 수의 차이가 있어 정확한 평가는 어려우나 4개 오염부지에 대한 자료만을 가지고 살펴보았을 경우 MTBE는 송유관에 의해 누출된 곳에서 높은 농도를 보여주었다. 그러나 Fig.1에서 보여주는 것처럼 전체적인 분포양상은 C지역을 제외하고는 거의 유사한 양상을 보여주었다. C 지역이 전체적으로 MTBE가 높은 농도를 보여주는 원인은 현장조사시 관찰된 관측공들에서의 자유상의 유류가 매우 많은 양이 지하수면 위에 놓여 있어 지속적인 오염원으로 작용하기 때문인 것으로 사료된다. BTEX의 경우 전술한 바와 같이 MTBE보다는 용해도가 낮기 때문에 농도는 상대적으로 낮은 값을 보여줌을 알 수 있었다.

2.3. MTBE의 이동 특성

지하수에서 MTBE의 이동을 조절하는 것은 크게 분산, 희석, 분해의 3가지 과정이 있으며 이러한 과정에 의하여 오염운의 크기가 결정되어진다. 일반적으로 유류오염부지에서 NTEX 오염운(plume)의 길이는 100m보다 적은 크기를 가진다. 그러나 MTBE의 경우 높은 용해도와 낮은 흡착 특성 때문에 오염운의 크기는 오염원으로부터 수킬로미터 정도까지도 확장되기도 한다.

Table 1. Summary of statistical data for volatile organic compounds and MTBE. (unit: mg/L)

Component		A	B	C	D
MTBE	mean	12	13.2	183.8	48.8
	min	0.2	0.035	0.7	0.02
	max	35	57	560	650
Benzene	mean	2.8	0.66	7.65	0.81
	min	0.01	0.021	0.4	0.00
	max	12	2.1	26	6.40
Toluene	mean	6.10	0.98	11.2	0.91
	min	0.02	0.02	1.6	0.01
	max	17	2.9	33	6.50
Ethylbenzene	mean	0.92	0.12	1.67	0.26
	min	0.01	0	0.01	0.01
	max	2.3	0.45	4.6	1.20
m-xylene	mean	4.31	0.69	5.06	0.54
	min	0.06	0.01	0.02	0.01
	max	12	1.7	8.8	3.20
p-xylene	mean	1.65	0.29	2.45	0.35
	min	0.02	0.01	0.8	0.00
	max	4.5	0.66	3.4	2.10
o-xylene	mean	1.60	0.54	1.982	0.53
	min	0.03	0.013	0.01	0.01
	max	4.2	1.3	3.2	2.60
BTEX	mean	17.4	3.27	25.7	1.93
	min	0.15	0.069	0.04	0.01
	max	41.1	7.12	76.4	16.59

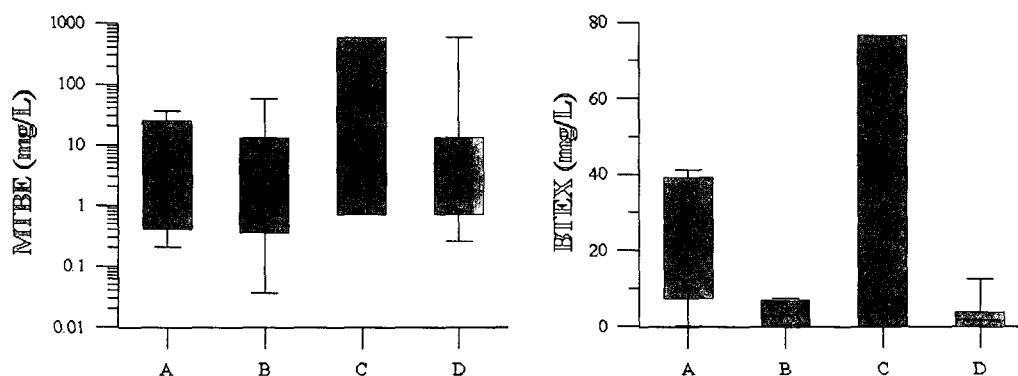


Fig. 1. Box-Whisker plot for MTBE and BTEX in 4 study sites.

Fig. 2는 D 부지에서 MTBE, BTEX 및 산화-환원반응에 의해 증가되는 Fe^{2+} , Mn^{2+} 의 농도를 오염원 으로부터 거리에 따라 나타낸 것이다. BTEX의 농도는 MTBE에 비해 상대적으로 낮은 값을 나타내고 있으며 거리가 멀어짐에 따라 큰 차이를 보여줌을 알 수 있었다. 오염원의 크기는 지하수 흐름의 하류 방향에 설치된 관정이 충분하지 않아 확실하게 판단하기 어려우나 MTBE가 BTEX에 비해 1.5배 이상 크기의 오염원을 가짐을 확인하였다.

3. 결론

현재까지 국내에서는 지하수에서 MTBE의 특성에 대한 연구가 별로 진행된 바 없다. 그러나 미국 등에서는 현재 활발하게 연구가 진행되는 실정이다. 따라서 MTBE가 나타날 개연성이 많은 유류오염부지 주변 지하수내 MTBE의 분포 특성을 조사 연구한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 유류오염부지 주변 지하수내 MTBE의 농도는 최고 650mg/L으로 EPA 음용수 기준인 20-40µg/L에 비해 상당히 오염되어 있음을 확인하였다.
- 2) MTBE의 오염운의 크기는 BTEX보다 더 큰 값을 가지는 것으로 조사되었으며 이는 MTBE의 지하수에 대한 용해도와 흡착능에 상관성이 있는 것으로 사료되었다.
- 3) MTBE의 발암성 등 위해성 요인이 확인되는 실정이므로 지하수내에서 이동 및 분해 특성에 대한 추가 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

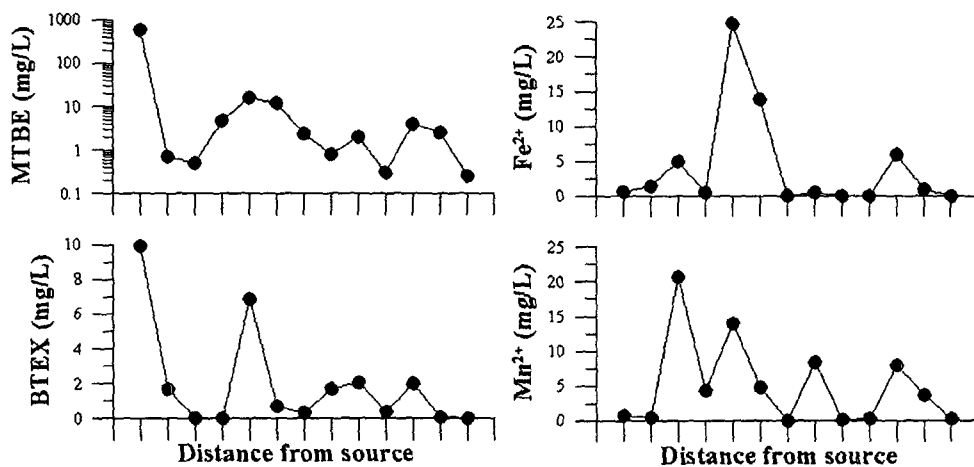


Fig. 2. Distribution of MTBE and BTEX from the contaminant source.

4. 참고문헌

1. 공성호, "국내 토양 및 지하수에서의 MTBE 분포", 연료첨가제 MTBE의 위해성 및 관리 필요성에 관한 세미나. 환경정책평가연구원, 서울, pp. 17-37, (2002).
2. Belpoggi, F., Soffritti, M., Maltoni, C., "Methyl tertiary-butyl ether(MtBE)-a gasoline additive-causes testicular and lymphohaematopoietic cancers in rats", *Toxicol. Ind. Health.*, **11**, pp. 119-149, (1995).
3. USEPA, "Drinking water advisory. Consumer acceptability advice and health effects analysis on MTBE", U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, EPA-882, (2002)
4. Johnson, R., Pankow, J., Bender, D., Price, C., and Zogorski, J., "MTBE: To what extent will past releases contaminate community water supply wells?" *Environ. Sci. & Technol.*, **35**(9), (2000).

사사

본 연구는 과학기술부 국책연구개발사업인 토양오염확산방지연구사업의 연구과제인 "지질환경별 부지 오염탐지기술개발(과제번호:M1-0304-00-0002)"의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.